

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**

DIALOG(R)File 351:Derwent WPI  
(c) 2001 Derwent Info Ltd. All rts. reserv.

002006973

WPI Acc No: 1978-19996A/197811

Electromagnetic sepn. of isotopes, esp. of uranium - where isotope of another element is added to make process more reliable

Patent Assignee: THOMSON CSF (CSFC )

Inventor: MOURIER G

Number of Countries: 003 Number of Patents: 004

Patent Family:

Patent No	Kind	Date	Applicat No	Kind	Date	Week
DE 2740272	A	19780309				197811 B
FR 2363364	A	19780505				197822
US 4167668	A	19790911				197938
DE 2740272	B	19801113				198047

Priority Applications (No Type Date): FR 7626872 A 19760907

Abstract (Basic): DE 2740272 A

Two isotopes (1,2) of a substance are sepd. using a plasma contg. very dissimilar ratios of the isotope ions. The plasma is subjected to a constant, homogeneous magnetic field at 90 degrees to a h.f. electric field with a frequency equal to the cyclotron frequency, in the plasma, of the rarer ions (1). The plasma also contains ions of a third type (3) complying with the formula  $n_3/n_2 = m_3/m_2 f_{12}-f_{32}/f_{22}-f_{12}$  where m is the mass of the ions; n their number/unit vol. or concn.; f is the angular cyclotron frequency. Ions (1) are collected on two electrodes, whereas ions (2, 3) travel to a separate collector. Concn.  $n_2$  pref. equals  $n_3$ , and the pref. substances are U235 (1); U238 (2) and Th232 (3).

In the pref. appts. the two electrodes are two flat plates forming a chamber with a single source at one end providing all three ions (1,2,3); the plasma is formed between the plates; and the collector is situated at the other end of the chamber.

Convention methods of sepn., e.g. of U235 from U238 using a magnetic- and electric-field are very difficult to operate. The invention adds a third ion so the process becomes less critical; the Th(3) can be subsequently recovered, e.g. by chemical means, and re-used.

Title Terms: ELECTROMAGNET; SEPARATE; ISOTOPE; URANIUM; ISOTOPE; ELEMENT; ADD; PROCESS; MORE; RELIABILITY

Derwent Class: J01; K05

International Patent Class (Additional): B01D-059/48

File Segment: CPI

A1

**DEMANDE  
DE BREVET D'INVENTION**

(21)

**N° 76 26872**

---

(54) Procédé de séparation isotopique et installation pour sa mise en œuvre.

(51) Classification internationale (Int. Cl.<sup>2</sup>). **B 01 D 59/48.**

(22) Date de dépôt ..... 7 septembre 1976, à 14 h 56 mn.

(33) (32) (31) Priorité revendiquée :

(41) Date de la mise à la disposition du  
public de la demande ..... B.O.P.I. — «Listes» n. 13 du 31-3-1978.

---

(71) Déposant : Société dite : THOMSON-CSF, résidant en France.

(72) Invention de : Georges Mourier.

(73) Titulaire : *Idem* (71) .

(74) Mandataire :

---

L'invention concerne un procédé de séparation isotopique.

L'invention utilise, suivant une disposition connue, l'action combinée sur un plasma contenant les isotopes à séparer d'un champ magnétique uniforme constant dans le temps et d'un champ électrique  
5 sinusoïdal de haute fréquence qui lui est perpendiculaire ; voir l'ouvrage "Electromagnetic Separation of Isotopes in Commercial Quantities", ed. Wakerling & Guthrie, Chapitre 12, "The Resonance Method", par J.R. RICHARDSON.

Sous l'effet de ces champs, les atomes ionisés des isotopes  
10 tournent dans la structure dans laquelle est contenu le plasma suivant des trajectoires qui dépendent notamment de leurs masses. Il est ainsi possible de capter préférentiellement l'un d'eux sur des électrodes coupant certaines de ces trajectoires.

Le procédé de l'invention est, comme on le verra, de mise en  
15 oeuvre particulièrement aisée dans le cas de deux isotopes en proportions très différentes dans le plasma, comme les isotopes  $U_{235}$  et  $U_{238}$  de l'uranium. Dans la suite, on citera cet exemple et on s'y réfèrera à diverses reprises, étant entendu que l'invention, décrite dans ce cas pour la commodité de l'exposé, n'est pas limitée  
20 à cet exemple.

D'après les formules connues, la fréquence propre de rotation, ou fréquence cyclotronique,  $f_c$ , en hertz, des ions de l'uranium 235,  $U_{235}^+$ , a sensiblement pour valeur  $f_c = 6,54 B$ ,  $B$  désignant l'induction magnétique dans le plasma mesurée en gauss ; la pulsa-  
25 tion  $\omega_c$  correspondante est  $\omega_c = 2\pi f_c$ . D'une façon générale, on a  $f_c = \frac{e}{2\pi m} B$ ,  $m$  désignant la masse de l'ion et  $e$  sa charge électrique.

Pour une fréquence  $f$  du champ électrique voisine de la fréquence de résonance  $f_c$  précédente, les ions de l'isotope  $U_{235}$   
30 décrivent des trajectoires en spirale dont le rayon augmente sans cesse avec leur distance  $z$  à la source dont ils sont issus. La structure dans laquelle a lieu ce mouvement consiste typiquement, suivant une disposition connue, en deux électrodes, en forme de plaques planes et parallèles, entre lesquelles est appliquée une différence

de potentiel sinusoïdale engendrant le champ électrique dirigé perpendiculairement à ces plaques, et en une source d'ions placée à l'une des extrémités de l'espace compris entre elles, entrée du dispositif.

5 Les ions  $U^{+}_{238}$  de l'autre isotope, dont la fréquence de résonance  $f'_0$  est plus éloignée de la fréquence  $f$ , suivent des trajectoires dont le rayon varie périodiquement le long de l'axe de la structure entre deux valeurs dont la plus grande est, pour cer-  
tains conditions de fonctionnement, sensiblement inférieure à celle  
10 du rayon de la trajectoire des ions  $U^{+}_{235}$  à la fin de leur trajet.

On conçoit que, dans ces conditions, il soit possible de capter préférentiellement, comme on l'a dit plus haut, les ions légers, à la fin de leur parcours, sur les électrodes en question non atteintes par les ions lourds, que l'on recueille séparément sur un collec-  
15 teur disposé à l'autre extrémité de la structure. On sépare ainsi les ions de l'espèce peu abondante recherchée, c'est-à-dire celle dont on désire l'enrichissement, espèce 1 dans la suite, de ceux de l'autre espèce, ou espèce indésirable 2.

Ce mode de séparation se heurte cependant à une difficulté  
20 importante lorsque, pour obtenir des débits industriels, on utilise des plasmas denses. Il se produit alors un effet de blindage : le plasma se comporte comme un bon conducteur dans lequel le champ électrique pénètre mal. Cet effet dépend de la constitution du plasma, c'est-à-dire des différentes particules qu'il renferme et  
25 de leurs proportions dans celui-ci, et de la valeur de leurs fréquences cyclotroniques par rapport à celle du champ électrique excitateur. Il est dû, selon la théorie électromagnétique, à la polarisation naturelle qui s'établit au sein du plasma.

On peut s'en faire une idée en considérant le vecteur polarisation  
30  $\vec{P}$  dont l'expression est donnée ci-dessous ; on a :

$$\vec{P} = \sum_k q_k \vec{r}_k$$

la somme  $\sum_k$  étant étendue à toutes les particules ionisées présentes dans le plasma,  $q_k$  désignant leur charge individuelle et  $r_k$  leur déplacement géométrique sous l'effet du champ électrique ;  $k$  est l'indice des particules.

L'expression précédente peut s'écrire aussi, s'il existe des populations de particules identiques ou de même espèce :

$$\vec{P} = \sum_i q_i \vec{r}_i n_i .$$

Dans ce cas  $i$  est l'indice des populations,  $q_i$  désignant leur charge et  $n_i$  le nombre de particules de chaque espèce.

Cet effet est d'autant plus marqué que la polarisation totale du plasma, égale à la somme des polarisations partielles de chacune des espèces de particules qu'il contient, est élevée. Mais en même temps, pour une particule donnée, le rayon de la trajectoire ne présente cette augmentation régulière le long de l'axe de propagation dont il a été question, que lorsque sa fréquence cyclotronique est très voisine de la fréquence du champ électrique d'excitation. Enfin, par suite des instabilités naturelles des plasmas, dues principalement aux espèces les plus abondantes, la fréquence des champs électriques au sein du plasma varie légèrement même pour des conditions d'excitation fixes, à savoir l'induction magnétique  $B$  et le champ électrique de fréquence  $\omega$ , que dans l'état actuel de la technique des plasmas on sait stabiliser avec une grande précision. Ces instabilités entraînent des fluctuations dans le temps  $t$  de la valeur maximale  $E_0$  du champ électrique sinusoïdal  $E_0 \sin \omega t$ , qui se trouve modulé dans le temps. On a alors  $E_0 \equiv E_0(t)$ . Or, toute variation de la quantité  $\omega$  autour de la pulsation cyclotronique  $\omega_{ci}$  de la particule de l'espèce recherchée réduit la valeur de la polarisation qui lui correspond dans le plasma, et donc les possibilités de séparation ; on précise ci-dessous l'expression de cette polarisation.

A partir de l'équation du mouvement d'une particule ionisée dans un champ électrique élémentaire sinusoïdal  $E = E_0 \sin \omega t$  de pulsation  $\omega$  orienté suivant  $x$  perpendiculairement aux plaques, on obtient comme expression de la polarisation totale du milieu :

$$P_x = E \sum_i \frac{n_i q_i^2}{m_i} \frac{1}{\omega_{ci}^2 - \omega^2} \quad (1)$$

$\omega_{ci}$  désignant la pulsation cyclotronique de la particule d'espèce  $i$  et  $q_i$ ,  $m_i$  et  $n_i$  respectivement sa charge électrique, sa masse et le nombre de particules de cette espèce présentes par unité de volume dans le plasma.

5 La considération d'un tel champ élémentaire est justifiée par le fait que, dans un milieu uniforme et quelle que soit la durée du mouvement de la particule, il est toujours possible de décomposer le champ électrique en intégrales de Fourier.

Cette expression montre que la polarisation totale du plasma,  $P$  dans la suite, varie rapidement avec les écarts  $\omega_{ci} - \omega$  du fait de la présence des termes  $\omega_{ci}^2 - \omega^2$ .

Il est possible, dans le cas de deux espèces d'indices 1 et 2, de choisir la pulsation  $\omega$  du champ excitateur de façon à annuler cette polarisation et faciliter la pénétration du champ électrique  
15 dans le plasma.

Il faut pour cela que soit réalisée la condition :

$$\frac{n_1 q_1^2}{m_1} \frac{1}{\omega_{c1}^2 - \omega^2} + \frac{n_2 q_2^2}{m_2} \frac{1}{\omega_{c2}^2 - \omega^2} = 0 \quad (2)$$

qui conduit, avec  $q_1 = q_2$  et en tenant compte de la proportionnalité inverse entre les masses  $m$  et les pulsations  $\omega$ , à la  
20 condition :

$$\omega \approx \omega_{c1} \left( 1 - \frac{n_1}{n_2} \cdot \frac{\Delta m}{m} \right)$$

$\Delta m$  désignant l'écart de masse entre les deux isotopes, et  $m$  la masse moyenne de ces isotopes. On voit que dans le cas de l'uranium considéré plus haut, où  $m_1$  est la masse 235 de  
25 l'isotope léger et  $m_2$  celle 238 de l'isotope lourd et où :  $\frac{n_1}{n_2} = \frac{1}{140}$ , cette condition conduit à  $\omega = \omega_{c1} (1 - 0,0001)$ , c'est-à-dire à une marge extrêmement étroite, de 1/10 000e pour la pulsation  $\omega$ .

S'il est donc possible de séparer, selon l'art connu, deux espèces,  
30 ces, par l'application d'un champ magnétique et d'un champ électrique croisés, cette séparation s'avère extrêmement critique du fait des fluctuations naturelles de polarisation et de champ électrique.

Le procédé de l'invention a pour objet d'éviter cette difficulté. A cette fin, il est prévu, selon l'invention, de mélanger aux deux espèces à séparer une troisième espèce, dont la masse et la concentration dans le plasma sont choisies de façon que la polarisation due à cette troisième espèce soit sensiblement égale et de signe opposé à celle due à l'espèce indésirable, la plus abondante, c'est-à-dire l'isotope  $^{238}$  dans le cas de l'uranium considéré précédemment. On verra comment l'addition de cette troisième espèce réduit le caractère critique du procédé. Dans une disposition préférée de l'invention la concentration de cette espèce dans le plasma est en outre sensiblement égale à celle de l'espèce indésirable. On récupère ensuite l'espèce ajoutée par voie chimique, par exemple, pour recyclage.

Le procédé de l'invention sera mieux compris en se reportant à la description qui suit et en s'aidant des figures qui y sont jointes et qui représentent :

Figure 1 : un diagramme montrant l'amélioration apportée par l'invention aux procédés de l'art connu ;

Figure 2 : un schéma d'un exemple d'installation de mise en oeuvre du procédé de l'invention.

On notera en outre qu'en introduisant la troisième espèce de particules dans le milieu, on réalise des conditions plus défavorables aux fluctuations de polarisation du milieu dues aux espèces indésirables à savoir les particules de l'espèce 2 précédente et celles de l'espèce 3 ajoutée. En effet, les fluctuations dues aux deux particules abondantes, dont les polarisations sont du même ordre, ne sont pas indépendantes l'une de l'autre ; il existe une corrélation entre elles et elles peuvent se compenser mutuellement dans des conditions qui seront précisées .

L'introduction, selon le procédé de séparation de l'invention, de cette troisième espèce dans le plasma, dans les conditions qui seront précisées, a donc pour effet de réduire encore davantage le caractère critique de la séparation par les procédés de l'art connu signalé plus haut.



La troisième espèce du plasma du procédé de l'invention sera affectée dans la suite de l'indice 3 :  $n_3$ ,  $m_3$ ,  $q_3$  et  $\omega_{c3}$  désignent les quantités considérées précédemment qui lui correspondent.

- 5 La polarisation totale  $P$  au sein du plasma est alors la somme des polarisations  $P_1$  et  $P_2$  dues aux deux isotopes à séparer, d'indices 1 et 2, et de la polarisation  $P_3$  due à l'élément ajouté. On a :

$$P = \frac{a}{\omega_{c1}^2 - \omega^2} + \frac{b}{\omega_{c2}^2 - \omega^2} + \frac{c}{\omega_{c3}^2 - \omega^2} \quad (3)$$

- 10 avec :

$$a = \frac{n_1 q_1^2}{m_1}, \quad b = \frac{n_2 q_2^2}{m_2}, \quad \text{et} \quad c = \frac{n_3 q_3^2}{m_3};$$

$$\text{on a : } q_1 = q_2 = q_3.$$

- Selon l'invention,  $b$  et  $c$  seront choisis de façon que la somme des deux derniers termes,  $P_2$  et  $P_3$ , soit nulle à la  
15 résonance cyclotronique de l'espèce 1 dont on recherche l'enrichissement, ce qui donne la relation :

$$\frac{b}{\omega_{c2}^2 - \omega_{c1}^2} + \frac{c}{\omega_{c3}^2 - \omega_{c1}^2} = 0$$

ou :

$$\frac{n_3}{n_2} = \frac{m_3}{m_2} \frac{\omega_{c1}^2 - \omega_{c3}^2}{\omega_{c2}^2 - \omega_{c1}^2}. \quad (4)$$

- 20 Dans la disposition préférée en question, on choisit une masse  $m_3$  dont la différence avec la masse  $m_1$  est égale en valeur absolue et de signe opposé à celle entre la masse  $m_2$  de l'isotope indésirable et la masse  $m_1$  de l'isotope recherché ; on a  $m_3 = 2m_1 - m_2$ .

Dans ces conditions, la masse  $m_3$  est voisine de celle des isotopes et dans l'équation (4) le second membre est voisin de 1 ; le rapport  $\frac{n_3}{n_2}$  est donc voisin de 1 lui aussi : la concentration en ions de l'espèce 3 ajoutée dans le plasma est voisine de celle des ions de l'isotope 2 indésirable. Les dispositifs dans  
 5 lesquels est mis en oeuvre le procédé de l'invention sont réglés de façon que les conditions de la résonance cyclotronique de l'espèce 1 soient réalisées.

Dans le cas de l'uranium, la valeur de  $m_3$  est 232. On choisira de préférence comme troisième espèce le thorium de masse  
 10 atomique 232, radioactivement stable et relativement abondant. On produira dans le plasma des ions  $\text{Th}^+_{232}$  avec une densité égale à celle des ions  $\text{U}^+_{238}$ .

De façon générale, selon cette disposition préférée, on introduit par une voie quelconque, physique ou chimique, dans le plasma  
 15 de deux isotopes en proportions très inégales utilisé pour séparer l'isotope en faible proportion de masse atomique  $m'$  de l'autre isotope largement majoritaire de masse atomique  $m''$  une troisième espèce de masse atomique  $m'''$  telle que  $m''' = 2m' - m''$  et en quantité  
 20 sensiblement égale à celle de l'isotope majoritaire indésirable.

L'amélioration apportée par l'invention est précisée ci-dessous dans le cas particulier de l'uranium à l'aide du diagramme de la figure 1.

Ce diagramme est une représentation cartésienne polarisation P-  
 25 pulsation  $\omega$ .

On a admis que les différences  $\omega_{c3} - \omega_{c1}$  et  $\omega_{c2} - \omega_{c1}$  étaient sensiblement égales en valeur absolue.

En trait plein est représentée la courbe II de la polarisation  $P_2$  due à l'espèce 2, de pulsation cyclotronique  $\omega_{c2}$ , dans un  
 30 plasma à deux ions des espèces 1 et 2 ; la polarisation  $P_2$  en question due aux particules de l'espèce indésirable 2 est égale, à la résonance cyclotronique de l'espèce 1, à l'ordonnée du point A.

En trait interrompu, est tracée la courbe III de la polarisation  $P_3$  due à l'espèce compensatrice 3 de pulsation cyclotronique  $\omega_{c3}$  ; enfin, en (C), en trait plein, celle de l'ensemble des deux espèces 2 et 3 du procédé de l'invention.

5 On voit que la polarisation due aux deux espèces indésirables 2 et 3 réunies reste inférieure à celle de l'espèce indésirable unique des procédés connus dans tout un intervalle de pulsation

$\Delta\omega$  autour de  $\omega_{c1}$  ; cet intervalle est celui limité à la parallèle à l'axe des ordonnées passant par le point A.

10 Il est donc possible, grâce à l'introduction des ions de la troisième espèce dans le plasma, selon le procédé de l'invention, de tolérer des variations de la fréquence du champ électrique appliqué s'étendant dans tout cet intervalle, et les fluctuations de plasma qui leur donnent naissance, sans dépasser une polarisation du  
15 plasma par les deux espèces indésirables supérieure à celle due à la particule indésirable unique des procédés connus.

On notera par ailleurs que la polarisation  $P_1$  due à l'isotope léger  $U_{235}$  restera supérieure en valeur absolue à la somme des polarisations  $P_2$  et  $P_3$  dues aux deux autres espèces  $U_{238}$  et  
20  $Th_{232}$  dans tout un intervalle de fréquence que l'on peut calculer à l'aide de la relation (3). Cet intervalle est, pour l'uranium pour lequel  $m_1 - m_3 = m_2 - m_1 = 3$  de  $\frac{7,6}{10\,000}$ . Or, on a vu que, dans le cas d'un plasma ne contenant que les deux isotopes de l'uranium, cet intervalle tel qu'il résultait de l'équation (2) n'était  
25 que de  $\frac{1}{10\,000}$ . On dispose donc, toutes choses égales par ailleurs, d'un intervalle de fréquence environ huit fois supérieur. La séparation s'avère donc moins critique en fréquence que dans les procédés de l'art connu. Ceci est un avantage important du procédé de l'invention.

30 Il est possible, toutes choses égales par ailleurs, de prévoir une séparation plus rapide que dans l'art connu, c'est-à-dire des plasmas plus courts. Ceci est un avantage du procédé de l'invention corrélatif du précédent.

La figure 2 est un schéma d'une installation fonctionnant suivant le procédé de l'invention.

Sur la figure, le repère 10 représente la source d'ions, unique dans l'exemple, où sont produits les ions des trois espèces : repères 1, 2 et 3 cerclés ; les repères 12 et 14 désignent deux plaques planes parallèles entre lesquelles est établie la différence de potentiel alternative  $V$  de pulsation  $\omega c_1$ , égale à la pulsation cyclotronique de la particule dont on recherche l'enrichissement, différence de potentiel sous l'effet de laquelle s'établit le champ électrique  $\vec{E}$ , dirigé suivant  $x$ , perpendiculairement à la direction de ces plaques, dans la nappe de plasma représentée par la surface couverte de points et séparée de ces plaques par les gaines  $g$ . Sur les plaques 12 et 14, est recueillie, à leur extrémité opposée à celle voisine de la source, l'espèce 1 ; les espèces 2 et 3 sont captées par le collecteur 16, relié au point milieu de l'alimentation 18.

La croix cerclée représente le champ magnétique appliqué, perpendiculaire au plan de la figure.

REVENDICATIONS

1. Procédé de séparation des deux isotopes d'un corps, utilisant un plasma contenant en proportions très inégales des ions desdits isotopes, plasma auquel sont appliqués un champ magnétique uniforme, constant dans le temps, et un champ électrique de haute fréquence  
 5 qui lui est perpendiculaire et dont la fréquence est sensiblement égale à la fréquence cyclotronique dans le plasma de l'ion de l'isotope le moins abondant, caractérisé en ce qu' est prévue dans ledit plasma la présence d'ions d'une troisième espèce dans une proportion définie par la formule :

$$10 \quad \frac{n_3}{n_2} = \frac{m_3}{m_2} \frac{\omega_{c1}^2 - \omega_{c3}^2}{\omega_{c2}^2 - \omega_{c1}^2} ,$$

dans laquelle les lettres  $m$ ,  $n$  et  $\omega$  désignent respectivement la masse, le nombre par unité de volume, ou concentration, et la pulsation cyclotronique de chaque sorte d'ions dans le plasma, avec l'indice 1 pour l'isotope le moins abondant, l'indice 2 pour l'autre isotope,  
 15 et l'indice 3 pour ladite troisième espèce, ledit procédé permettant de recueillir notamment, sur deux électrodes entre lesquelles est confiné le plasma, les ions de l'isotope le moins abondant, et sur un collecteur séparé, les ions de l'autre isotope et ceux de ladite troisième espèce.

20 2. Procédé de séparation isotopique suivant la revendication 1, caractérisé en ce que les concentrations  $n_2$  et  $n_3$  sont sensiblement égales entre elles, et en ce que la masse  $m_3$  est choisie de façon à satisfaire sensiblement à la relation  $m_3 = 2m_1 - m_2$ .

3. Procédé de séparation isotopique suivant la revendication 2,  
 25 caractérisé en ce que les deux dits isotopes sont les deux isotopes  $U_{235}$  et  $U_{238}$  de l'uranium et en ce que la troisième espèce est constituée de thorium  $Th_{232}$ .

4. Installation de mise en oeuvre du procédé suivant la revendication 1, caractérisée en ce que les deux dites électrodes sont  
 30 deux plaques planes parallèles et en ce que les ions desdits deux

isotopes et de ladite troisième espèce sont fournis par une source unique placée à l'une des extrémités de l'espace délimité par ces plaques, espace dans lequel est confiné ledit plasma, et dont le collecteur occupe l'autre extrémité.

FIG. 1

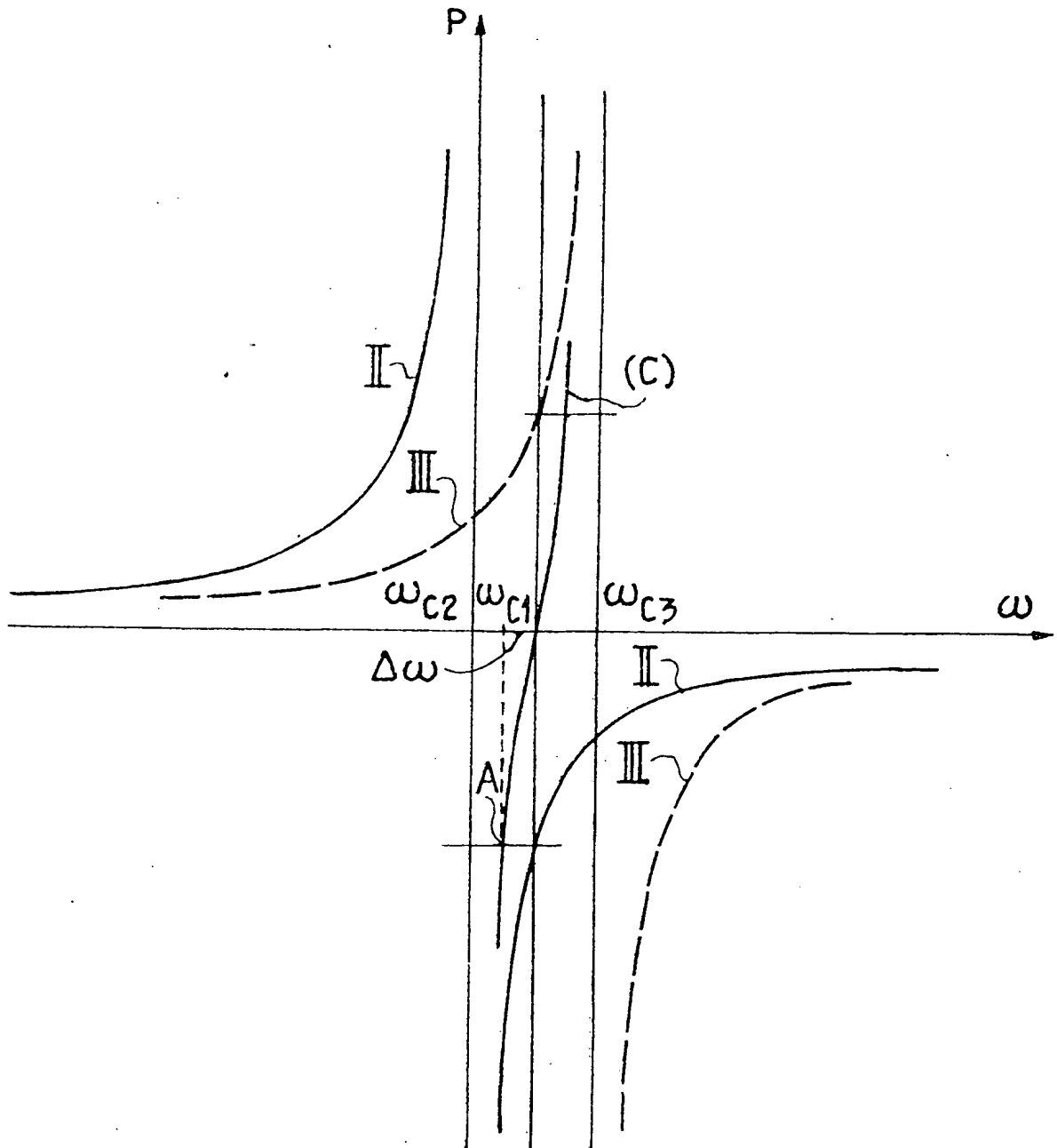


FIG. 2

